

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problems Mailbox.**

DE 00/1882
EJU



REC'D 10 AUG 2000	
WIPO	PCT

Priority
DHA/GfA
9-27-0

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 199 26 927.0

Anmeldetag: 14. Juni 1999

Anmelder/Inhaber: CEOS Corrected Electron Optical Systems GmbH,
Heidelberg, Neckar/DE

Bezeichnung: Elektrostatischer Korrektor zur Beseitigung des
Farbfehlers von Teilchenlinsen

IPC: H 01 J 37/153

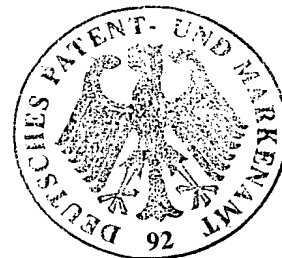
Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 27. Juli 2000
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

**PRIORITY
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

Agurks



Elektrostatischer Korrektor zur Beseitigung des Farbfehlers von Teilchenlinsen

5 Die Erfindung betrifft einen elektrostatischen Kor-
rektor zur Beseitigung des Farbfehlers von Teil-
chenlinsen mit gerader optischer Achse und einem
der Objektivlinse zuzuordnenden elektrostatischen
Quadrupol.

10

Durch das Scherzer-Theorem (O. Scherzer, Zeit-
schrift für Physik 101, (1936) 593) ist bekannt,
daß in optisch abbildenden Systemen für geladene
Teilchen, unter denen vor allen Elektronen und Io-
nen zu verstehen sind, bei Verwendung statischer,
15 raumladungsfreier und rotationssymmetrischer Fel-
dern die chromatische Aberration (Farbfehler) und
die sphärische Aberration (Öffnungsfehler) grund-
sätzlich nicht verschwinden. Da diese Fehler die
Leistungsfähigkeit der abbildenden optischen Sy-
steme und im speziellen das Auflösungsvermögen be-
grenzen, hat es nicht an Versuchen gefehlt, diese
Bildfehler zu beseitigen. Am meisten Erfolg ver-
spricht das Abgehen von rotationssymmetrischen Fel-
20 dern, also die Verwendung unrunder Linsen in Form
von Multipolen, also insbesondere Quadrupolen, Ok-
topole udgl. Mit Hilfe eines derartigen aus elek-
trischen und magnetischen Multipolen aufgebauten
Korrektor gelang es den beiden Geschäftsführern der
25 Anmelderin die sphärische und chromatische Aberra-
tion in einem Niederspannungsrasterelektronenmikro-
skop vollständig zu korrigieren (J. Zach, M. Haider
Nucl. Instr. method. A363 (1995) 316), wobei ein
30

Auflösungsvermögen von 2 nm bei einer Elektronenenergie von 1kv nachgewiesen werden konnte.

5 Die Nachteile der elektromagnetischen Multipolkorrektoren sind darin zu sehen, daß die Magnetfelder aufgrund der Remanenz keine schnelle und präzise sowie reproduzierbare Justierung der magnetischen Felder erlauben. Eine Entmagnetisierung erfordert zudem einen erheblichen Aufwand darstellenden Ausbau der Spulenkerne. Über einen längeren Zeitraum stellt sich eine relativ große Drift der Magnetfelder ein. Schließlich lassen sich die in Ionenoptischen Geräten, wie z. B. der Lithographie, aufgrund der großen Ionenmassen notwendigen starken magnetischen Feldstärken wegen der Abhängigkeit der Fokussierung von der Masse nur schwer realisieren. 10 Korrektoren zur Beseitigung des Farbfehlers mit in beiden Schnitten rein elektrischen Feldern sind unbekannt. 15

20 Hiervon ausgehend hat sich die Erfindung die Schaffung eines Korrektors zur Beseitigung des Farbfehlers von Teilchenlinsen zur Aufgabe gemacht, der ausschließlich aus elektrischen Feldern, also unter Verzicht auf magnetische Felder, aufgebaut ist. 25

30 Gelöst wird diese Aufgabe erfindungsgemäß dadurch, daß in Stahlrichtung hinter den Quadrupol entlang der optischen Achse zwei Korrekturstücke angeordnet sind, jedes Korrekturstück drei elektrische Quadrupolfelder mit überlagertem Rundlinsenfeld aufweist,

deren Quadrupolfelder jedoch relativ zueinander um einen Winkel von 90 Grad um die optische Achse gedreht sind und die Einstellung derart vorgenommen wird, daß das astigmatische Zwischenbild des einen Schnittes in einem Korrekturstück und das dazu senkrechte astigmatische Zwischenbild des anderen Schnittes im anderen Korrekturstück zu liegen kommt und ausgangsseitig schließlich ein weiterer elektrostatischer Quadrupol angeordnet ist.

Der Begriff Farbfehler meint im Sinne der Erfindung unter Anwendung der exakten Terminologie den axialen Farbfehler erster Ordnung ersten Grades. Hierbei beschreibt das Wort "axial", daß dieser Farbfehler nur bestimmt wird, durch die im Gegenstandspunkt von der optischen Achse ausgehenden Fundamentalbahn, d.h. den Fundamentallösungen der Gaußschen Optik. Der Farbfehler ist also unabhängig von außeraxialen Bahnen. Die Ordnung beschreibt die Potenz, mit welcher die Anfangssteigung der Fundamentalbahn in die Fehlerabweichung eingeht; im Falle erster Ordnung besteht eine lineare Abhängigkeit. Der Begriff "ersten Grades" beschreibt, daß die Fehlerabweichung linear von der relativen Geschwindigkeitsabweichung der mittleren Geschwindigkeit der Teilchen abhängt. Im Falle monochromatischer Teilchen - d. h. Teilchen gleicher Geschwindigkeit und damit auch konstanter Wellenlänge - werden die relativen Abweichungen damit zu Null. In diesem Fall entsteht kein Farbfehler. In der Sprache der Optik wird der Farbfehler häufig auch als chromatische Aberration bezeichnet.

Der vorgeschlagene elektrostatische Korrektur besteht in seinem grundsätzlichen Aufbau aus vier in Richtung der geraden optischen Achse hintereinander angeordneten Elementen, nämlich - in Richtung des Strahlenganges ausgehend von dem Objektiv -

5 zunächst aus einem Quadrupol und zwei sich hintereinander hieran anordnende Korrekturstücke und schließlich - ausgangsseitig - aus einem weiteren Quadrupol. Die Quadrupolfelder der beiden Korrekturstücke sind gegeneinander um einen Winkel von

10 90° um die optische Achse gedreht.

Der Strahlengang im Korrektur verläuft wie folgt: Der von der Mitte des Objektes ausgehende axiale Strahlengang wird als erstes durch die Objektiv-

15 linse umgelenkt und nach dem Eintritt in den Korrektur zunächst durch den elektrischen Quadrupol in beiden Schnitten (X-, Y-Schnitt) unterschiedlich abgelenkt. Das Teilchenbündel wird dadurch in einem Schnitt fokussiert (z. B. im X-Schnitt) und im anderen auseinandergezogen (Y-Schnitt), so daß ein

20 astigmatisches Zwischenbild entsteht, das die optische Achse durchsetzt und zweckmäßigerweise in die Mitte des ersten Korrekturstücks gelegt wird. Dieses Korrekturstück beeinflußt deshalb nicht wesentlich den Bahnverlauf in dem Schnitt in dem das Zwischenbild liegt (X-Schnitt), weil die axiale Bahn

25 nahe der optischen Achse verläuft und diese schneidet, wobei zwar positive Farbfehler entstehen, die aber aufgrund des geringen Achsenabstandes nur sehr klein ausfallen. Im dazu senkrechten Schnitt (Y-

30 Schnitt) hingegen erfährt der Bahnverlauf durch die Quadrupolfelder des Korrekturstückes eine erhebliche Beeinflussung und einen negativen Beitrag zum

Farbfehler. Somit erfolgt eine Beeinflussung des Farbfehlers des einen Schnittes im ersten Korrekturstück und der des zweiten Schnittes im zweiten Korrekturstück in analoger Weise. In Abhängigkeit von den eingestellten Potentialen wird eine Beeinflussung des Farbfehlers und im idealen Fall eine Kompensation des Farbfehlers der Objektivlinse erfolgen, sodaß das gesamte aus Objektivlinse und Korrektur gebildete optische System von Farbfehlern freie Abbildungseigenschaften aufweist. Der letzte Quadrupol dient dazu den Strahlengang wieder zur Rotationssymmetrie zusammenzusetzen.

Die Erzeugung des astigmatischen Zwischenbildes innerhalb des Korrekturstückes, d.h. der Nulldurchgang der entsprechenden paraxialen Bahn läßt sich durch entsprechende Wahl der Stärke des am Eingang des Korrektors befindlichen elektrischen Quadrupols erreichen. Durch Veränderung des Potentials der elektrischen Quadrupolfelder des Korrekturstückes (Rundlinsenanteil als auch Quadrupolfeldstärke) zueinander, also des Gegenfeldes zwischen den Quadrupolfeldern, erfolgt die Beeinflussung und Einstellung des Farbfehlers.

Die entscheidenden Vorteile des elektrostatischen Korrektors bestehen in einer schnellen und präzisen Justierung und Einstellung der Felder, eine problemlose Handhabung mit reproduzierbaren Verhältnissen auch über einen längeren Zeitraum und auch in der möglichen Verwendung in ionenoptischen Geräten.

Als besonders bevorzugt gelten Ausgestaltungen, bei denen ein symmetrischer Aufbau und/oder symmetri-

5 scher Verlauf innerhalb eines Korrekturstückes zu
deren Mittelebene und/oder ein symmetrischer Aufbau
und/oder symmetrischer Verlauf der Felder der bei-
den Korrekturstücke, zu der dazwischen befindlichen
10 Mittelebene vorgesehen ist. Aufgrund des symmetri-
schen/antisymmetrischen Verlaufes der paraxialen
Bahnen innerhalb der Korrekturstücke heben sich
zahlreiche Fehlerintegrale auf oder werden doch zu-
mindest auf analytische Weise übersichtlich und
15 problemlos lösbar, was wesentlich zur Transparenz
und zum Verständnis des Verhaltens des Korrektors
in unterschiedlichen Situationen und Einstellungen
beiträgt. Die Symmetrie zur Mittelebene eines Kor-
rekturstückes sowohl im Aufbau als auch in der Ein-
20 stellung der elektrischen Felder hat zur Folge, daß
der Nulldurchgang der entsprechenden Paraxialbahn
exakt in die Mittelebene zu liegen kommt. Zudem
sind die beiden äußeren Quadrupolfelder des selben
Korrekturstückes dann identisch.
25 Aufgrund Aufbau und Symmetrie der Felder der beiden
Korrekturstücke unter Beibehaltung der relativen
Verdrehung gegeneinander um 90 Grad erhält man in
beiden Schnitten einen gleichen Bahnverlauf, d.h.
die im ersten Korrekturstück vorgenommene Korrektur
30 des einen Schnittes erfolgt im anderen Schnitt im
zweiten Korrekturstück.
Einfache analytische Lösbarkeit und aufgrund der
Übersichtlichkeit in einem daraus resultierenden
Verständnis des Verhaltens des Korrektors sind die
30 hieraus resultierenden Vorzüge. Es vereinfachen
sich nicht nur die Justierung sondern die Handha-
bung generell; die Möglichkeit der Einstellung we-

niger Potentiale trägt ebenfalls zur Erleichterung bei.

Zur Einstellung des Korrektors:

5 Grundsätzlich besteht die Möglichkeit durch Beeinflussung des Farbfehlers eine in weiten Grenzen beliebige Einstellung des Farbfehlers des aus Objektivlinse und Korrektor bestehenden Gesamtsystemes zu erreichen. Häufig besteht das erklärte Ziel
10 darin, den Gesamtfehler des optischen Systemes zu Null zu machen, d.h. durch den Korrektor einen negativen Farbfehleranteil zu erzeugen, der den sich aus Objektivlinse und den einzelnen Korrektur-elementen erzeugten weiteren positiven Farbfehler zu
15 Null kompensiert. Bei den vorbeschriebenen symmetrischen Verhältnissen stehen zur Einstellung des Korrekturstücks nur zwei Parameter zur Verfügung, nämlich das Verhältnis des äußeren und mittleren Rundlinsenfeldes sowie die Stärke des Quadrupolfeldes.
20

Die Beseitigung des Farbfehlers geschieht in einem iterativen Prozeß, der im Falle des vorbeschriebenen symmetrischen Aufbaus ebenfalls besonders übersichtlich wird und im folgenden kurz geschildert
25 werden soll:

Bei konstantem Verhältnis der beiden Rundlinsenpotentiale des Korrekturstückes wird die Quadrupolstärke verändert und hierbei der Farbfehlerkoeffizient gemessen. Sobald der Farbfehler seinen Minimalwert annimmt, wird das Verhältnis des Rundlinsenfeldes ebenfalls verändert mit dem Ziel der weiteren Minimierung des Farbfehlers. Durch mehrere ite-
30

5 rative Schritte in der vorbeschriebenen Weise läßt sich der Farbfehler dann vollständig beseitigen. Mathematische Überlegungen zeigen, daß eine vollständige Korrektur des Farbfehlers nur für bestimmte Bereiche der Rundlinsenpotentiale des Korrekturstückes sowie der Quadrupolfeldstärken möglich sein wird.

10 Wie eingangs erwähnt, wird die Leistungsfähigkeit elektronenoptischer Abbildungssystem durch Farbfehler (chromatische Aberration) und Öffnungsfehler (sphärische Aberration) begrenzt. Die Aufgabe des bisher beschriebenen Korrektors besteht in der Beseitigung des axialen Farbfehlers erster Ordnung
15 ersten Grades. In zahlreichen Anwendungsfällen ist man bestrebt, zusätzlich die sphärische Aberration genauer den axialen Öffnungsfehler dritter Ordnung zu beseitigen. Hierzu werden Oktopolfelder, also
20 vierzählige Felder den Quadrupolfeldern überlagert. Bei dem als besondere Ausgestaltung beschriebenen symmetrischen Aufbau überlagert das Oktopolfeld das mittlere Quadrupolfeld des Korrekturstückes. Durch
25 die Wahl und Einstellung der Stärke des Oktopolfeldes erfolgt eine Einstellung und ggf. Kompensation des axialen Öffnungsfehlers dritter Ordnung völlig entkoppelt von der Einstellung der der Beseitigung des Farbfehlers dienenden Quadrupolfelder.

30 Für die bauliche Realisierung ist es möglich, in einem einzigen Multipolelement, Quadrupol als auch Oktopolfelder zu erzeugen.

Weitere Einzelheiten, Merkmale und Vorteile der Erfindung lassen sich dem nachfolgenden Beschreibungsteil entnehmen, in dem anhand der Zeichnung Aufbau und Funktion des erfindungsgemäß vorgeschlagenen elektrostatischen Korrektors entnehmbar sind. Die paraxialen Bahnen α , β gehen vom Objekt (1) aus und werden durch die mit einem Farbfehler behaftete Objektivlinse (2) abgelenkt. Der Korrektor (3) besteht in seinem grundsätzlichen Aufbau aus einer der Objektivlinse (4) zugewandten Quadrupol (4), einem sich in Ausbreitungsrichtung des Strahlenganges anschließenden ersten Korrekturstück (5) sowie einem im Abstand hierzu angeordneten weiteren Korrekturstück (6). Wie aus der Zeichnung erkennbar, bewirkt der Quadrupol (4) eine Aufspaltung in der in unterschiedlichen Schnitten verlaufenden axialen Bahnen α , β in unterschiedliche Richtungen, nämlich zum einen in Richtung auf optische Achse (Z) und im anderen Schnitt senkrecht hierzu. Das Korrekturstück (5) besteht aus drei Quadrupolfeldern (5a, 5b, 5c) die symmetrisch sind, d.h. die beiden äußeren Quadrupolfelder (5a, 5c) sind in ihrer Stärke gleich und liegen symmetrisch zum mittleren Quadrupolfeld (5b). Zur Herstellung eines symmetrischen Strahlenganges ist ausgangsseitig ein weiterer Quadrupol (7) angeordnet.

Der im Hinblick auf die Mittelebene (Z_M) symmetrische Aufbau der Korrekturstücke (5, 6) die lediglich relativ gegeneinander um die optische Achse (z) um 90 Grad gedreht sind, ergibt gleichen Bahnverlauf in der um 90 Grad gedrehten Schnittebene.

Das eine Korrekturstück (5) bewirkt die Beeinflussung und Beseitigung des Farbfehlers in derjenigen Schnittebene, in der die α -Bahn verläuft. Das andere Korrekturstück (6) wirkt auf die im anderen Schnitt verlaufende β -Bahn ein, sodaß jedes der Korrekturstücke (5, 6) in einem der beiden Schnitte die Beeinflussung oder gar die Beseitigung des Farbfehlers vornehmen. Sämtliche Quadrupol- und Rundlinsenfelder sind elektrostatischer Natur.

Nicht eingezeichnet ist, daß durch Überlagerung von Oktopolfeldern vornehmlich im Bereich der astigmatischen Zwischenbilder eine Korrektur der sphärischen Aberration (axialer Öffnungsfehler 3. Ordnung) vorgenommen werden kann. Eine wesentliche Steigerung der Leistungsfähigkeit der Teilchen optischer Abbildungssysteme läßt sich durch die Beseitigung des Farbfehlers und ggf. noch des Öffnungsfehlers erreichen.

P A T E N T A N S P R Ü C H E

=====

- 5 1. Elektrostatischer Korrektor zur Beseitigung des
Farbfehlers von Teilchenlinsen mit gerader opti-
10 scher Achse und einem der Objektivlinse zuzuordnen-
den elektrostatischen Quadrupol,
dadurch gekennzeichnet, daß
- 15 - in Stahlrichtung hinter den Quadrupol entlang der
optischen Achse zwei Korrekturstücke angeordnet
sind,
- 20 - jedes Korrekturstück drei elektrische Quadrupol-
felder mit überlagertem Rundlinsenfeld aufweist,
- deren Quadrupolfelder jedoch relativ zueinander
um einen Winkel von 90 Grad um die optische Achse
gedreht sind und
- 25 - die Einstellung derart vorgenommen wird, daß das
astigmatische Zwischenbild des einen Schnittes in
einem Korrekturstück und das dazu senkrechte astig-
matische Zwischenbild des anderen Schnittes im an-
deren Korrekturstück zu liegen kommt und ausgangs-
seitig schließlich ein weiterer elektrostatischer
Quadrupol angeordnet ist.
- 30 2. Korrektor nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch
einen symmetrischen Aufbau des Korrekturstücks

und/oder einen symmetrischen Verlauf der Felder eines Korrekturstückes zu deren Mittelebenen.

5 3. Korrektor nach Anspruch 1 oder 2, **gekennzeichnet**
durch einen symmetrischen Aufbau des Korrektors
und/oder einen symmetrischen Verlauf der Felder zu
der durch die beiden Korrekturstücke definierten
Mittelebene.

10

4. Korrektor nach Ansprüchen 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, daß den Quadrupolfeldern der Korrekturstücke mindestens ein Oktupolfeld überlagert
15 ist.

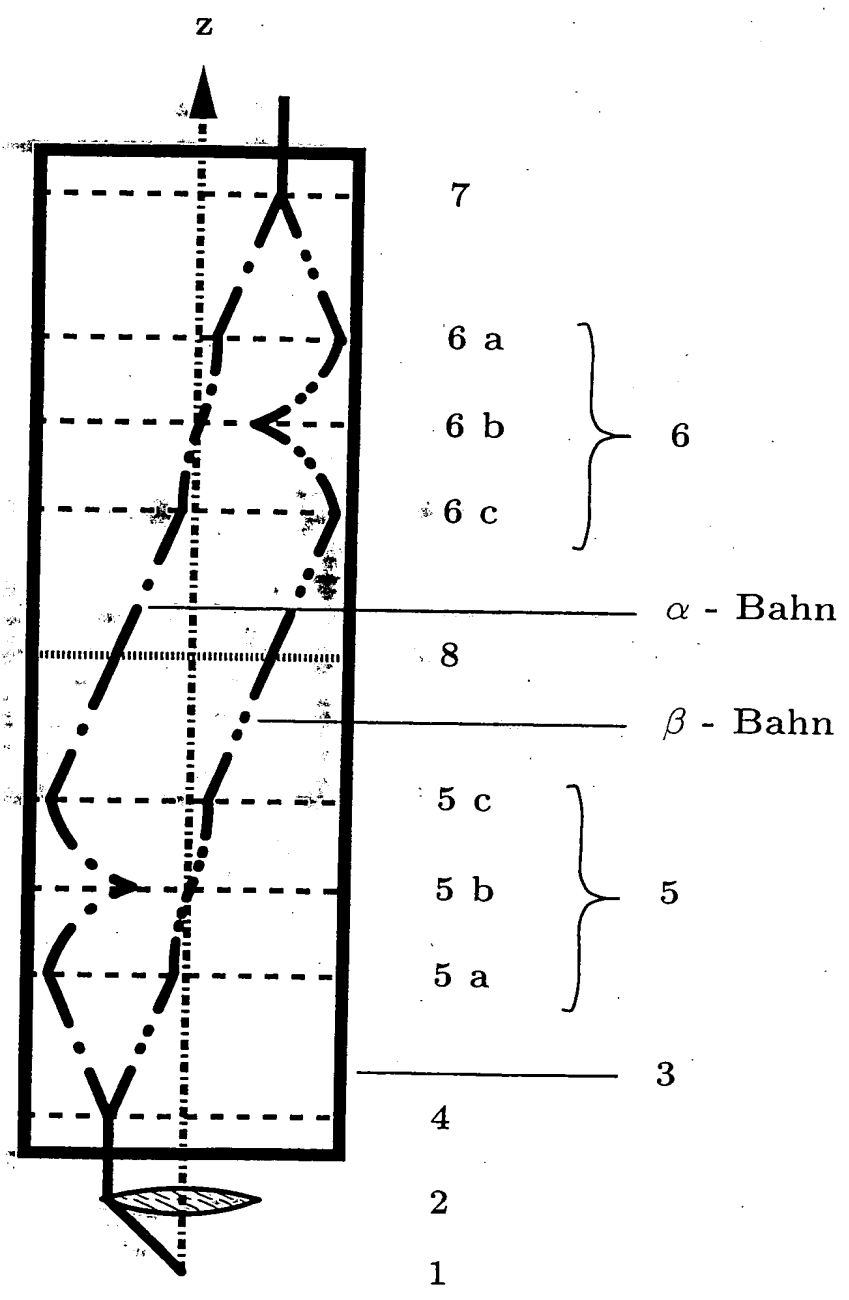
15

5. Korrektor nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Oktupolfelder im Bereich der jeweiligen astigmatischen Zwischenbilder angeordnet sind.
20

20

6. Korrektor nach Anspruch 4 oder 5, **dadurch gekennzeichnet**, daß dasselbe Multipolelement sowohl
25 ein Quadrupol- als auch ein Oktupolfeld erzeugt.

25



Z U S A M M E N F A S S U N G

=====

5

**Elektrostatischer Korrektor zur Beseitigung des
Farbfehlers von Teilchenlinsen**

10

15

20

25

30

Die Erfindung betrifft ein Elektrostatischer Korrektor zur Beseitigung des Farbfehlers von Teilchenlinsen mit gerader optischer Achse und einem der Objektivlinse zuzuordnenden elektrostatischen Quadrupol, wobei in Stahrichtung hinter den Quadrupol entlang der optischen Achse zwei Korrekturstücke angeordnet sind, jedes Korrekturstück drei elektrische Quadrupolfelder mit überlagertem Rundlinsenfeld aufweist, deren Quadrupolfelder jedoch relativ zueinander um einen Winkel von 90 Grad um die optische Achse gedreht sind und die Einstellung derart vorgenommen wird, daß das astigmatische Zwischenbild des einen Schnittes in einem Korrekturstück und das dazu senkrechte astigmatische Zwischenbild des anderen Schnittes im anderen Korrekturstück zu liegen kommt und ausgangsseitig schließlich ein weiterer elektrostatischer Quadrupol angeordnet ist.

